直接法与替代法测定羊草对肉用绵羊代谢能的比较研究

赵明明[1,2] 杨开伦[1] 邓凯东[3] 赵江波[2] 肖 怡[2] 马 涛[2] 刁其玉[1,2*]

（1.新疆农业大学动物科学学院，乌鲁木齐 830052；2.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081；3.金陵科技学院动物科学与技术学院，南京 210038）

摘 要：本试验旨在比较直接法和替代法测定羊草对肉用绵羊代谢能。选用体重约为 45.00 kg 的体况良好的杂交肉用羯羊 30 只，采用随机区组设计，分为 5 个处理，每个处理 6 个重复，每个重复 1 只羊，分别是直接法的全羊草饲粮、用于替代法的基础饲粮（精粗比为 1:1）和 3 个试验饲粮，3 个试验饲粮分别以 60%、40%、20%羊草替代基础饲粮。饲粮均于 08:00、18:00 各饲喂 600 g 饲粮。试验每期 19 d，包括预试期 10 d，正试期 9 d。结果表明：干物质、有机物、总能、粗蛋白质表观消化率为基础饲粮组>20%组>40%组>60%组>全羊草饲粮组（$P<0.05$）。消化能与代谢能，基础饲粮组>20%组>40%组>60%组>全羊草饲粮组（$P<0.05$）。代谢能与消化能比各组饲粮差异不显著（$P>0.05$）。直接法和替代法对测定原料羊草的粗蛋白质、中性洗涤纤维表观消化率影响不显著（$P>0.05$）。直接法中全羊草饲粮组的羊草干物质、有机物、总能表观消化率显著高于 60%组（$P<0.05$），而与 40%组、20%组之间差异不显著（$P>0.05$）。全羊草饲粮组羊草的消化能和代谢能显著高于 60%组（$P<0.05$），与 40%组、20%组之间差异不显著（$P>0.05$）。综合得出，直接法与替代法在测定羊草的代谢能时，替代比例不同会对结果产生显著影响，在采用替代法测定羊草的代谢能时，最佳的替代比例为 20%。

关键词：直接法；替代法；代谢能估测；肉用绵羊；羊草

中图分类号：S826;S816.5

我国是世界养羊大国，然而不是强国，随着肉羊的舍饲设施规模化进程，饲粮配方是关键技术之一，营养水平需要量和饲料的营养价值是动物饲粮配制不可缺少的基础数据[1]。粗饲料是反刍动物重要的营养源，合理、高效利用粗饲料也是促使我国畜牧业可持续发展的科学之路。评定饲料营养价值的基础在于对其代谢能(ME)的测定和计算。因此，有必要寻找一种能够准确、客观评定单一的粗饲料原料 ME 的方法，这对准确建立反刍动物饲料营养水

收稿日期：2015-08-

基金项目：秸秆饲料生物转化技术研究与示范（20120304202）；国家肉羊产业技术体系（CARS-39）

作者简介：赵明明(1988—)，女，河南西平人，硕士研究生，研究方向为动物生理与营养。E-mail: 714496904@qq.com

*通信作者：刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail: diaoqiyu@caas.cn

平数据库、优化饲粮配方、降低饲养成本具有重要意义。世界各国关于反刍动物饲料有效能值评定方法的研究报道各有特点，尤其是测定方法的可操作性、重复性等难以满足饲料原料有效能值准确评定的要求。体内法中的直接法与替代法是原料能值评定的经典的方法[2]。已有报道，兔饲料原料的能值采用替代法测定值精确度更高[3]；仔鸡、成年鸡、产蛋鸡单一饲料 ME 适合用替代法来测定[4-6]；猪饲料原料的净能[7]、消化能(DE)[8]也采用了替代法来测定。目前，对于反刍动物粗饲料原料营养水平评定上，大多采用体外法、半体内法对其营养物质含量、各营养物质降解率等进行评定，对粗饲料原料营养物质可利用性的研究较少，已有的对单一的粗饲料原料的有效能值评定的报道中多是采用数学公式推算或是体外法估测所得。而评定一种饲料的营养水平最准确、最直观的方法就是动物试验，体内法和半体内法均需要试验动物，半体内法由于自身的局限性，不适用于单一粗饲料原料 ME 的评定。而采用体内法对单一的粗饲料原料 ME 进行评定，在反刍动物方面鲜有报道，鉴于肉羊复杂的瘤胃结构、粗饲料自身的特点，因此有必要探究直接法与替代法在反刍动物单一粗饲料能值评定上的应用。本试验以羊草为试验原料，以体重为 45.0 kg 的杂交肉用羯羊为试验动物，分别通过直接法和替代法测定羊草在成年肉用羯羊的 DE、ME 以及各种营养成分的表观消化率，研究这 2 种方法对羊草 ME 的影响，为评定肉羊单一粗饲料能值提供方法学上的科学数据。

1 材料与方法

1.1 试验动物及试验设计

消化代谢试验和气体代谢试验于中国农业科学院南口中试基地进行，样品分析试验在中国农业科学院饲料研究所家畜营养与饲料研究室进行。试验选用初始重为(45.00±1.96) kg 的体况良好的杜泊×小尾寒羊 F1 代杂交肉用羯羊 30 只，分为 5 个处理，每个处理 6 个重复，每个重复 1 只羊，单独圈养于不锈钢羊栏(3.2 m×0.8 m)中。

1.2 试验饲粮及配制

直接法和替代法所使用的饲粮，参照 NRC（2007）[9]40～50 kg 成年肉用公羊 1.3 倍维持需要配制。直接法为全羊草饲粮；替代法分别为基础饲粮和 3 个试验饲粮，试验饲粮分别以 60%、40%、20%羊草替代基础饲粮，分别记为 60%组、40%组和 20%组。试验所用饲粮全部制成颗粒状饲料（饲料颗粒直径 4.5 mm，长 10 mm），饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　饲粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets （DM basis）　%

项目 Items	全羊草饲粮 Full *Leymus chinensis* diet	替代比例 Substitution proportion/%			
		0	60	40	20
玉米 Corn		28.54	11.42	17.12	22.83
豆粕 Soybean meal		18.24	7.30	10.94	14.59
羊草 *Leymus chinensis*	97.81	50.68	78.74	69.40	60.04
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.45	1.00	1.00	1.00	1.00
石粉 $CaCO_3$		0.80	0.80	0.80	0.80
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
预混料 Premix[1)]	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]					
有机物 OM	88.72	90.51	89.84	90.45	90.16
粗蛋白质 CP	7.66	15.52	10.87	12.54	14.05
粗脂肪 EE	1.99	1.92	2.05	2.13	2.18
中性洗涤纤维 NDF	65.88	43.22	57.15	51.23	47.34
酸性洗涤纤维 ADF	39.39	22.89	37.20	28.02	24.68

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：Cu 16.0 mg，Fe 60.0 mg，Mn 40.0 mg，Zn 70.0 mg，I 0.80 mg，Se 0.30 mg，Co 0.30mg，VA 12 000 IU，VD 5 000 IU，VE 50.0 mg。

[2)] 实测值 Measured values。

1.3　试验设计及操作

试验期 19 d，分为预试期 10 d，正试期 9 d，正试期中气体代谢试验 3 d，消化代谢试验 6 d。在预试前通过饲喂基础饲粮确定日增重为 0 g/d 的维持需要采食量，试验羊采用限饲的方法（每种饲粮 1 200 g/d），每天 08：00、18:00 各喂 600 g 饲粮，全天自由饮水。消化代谢试验采用由中国农业科学院饲料研究所设计并制作的代谢笼，含有能将粪便与尿液自动分离的装置，采用全收粪尿法收集粪、尿，每天称取并记录每只羊排粪量，按 10%取样，将每只羊 6 d 的粪样混合冷冻保存，用盛有 100 mL10% H_2SO_4 的塑料桶收集尿液，稀释至 5 L（防止贮存中有尿酸沉淀），对稀释尿液充分混合，用纱布过滤后每天取样 20 mL，将每只羊 6 d 的尿样混合后于-20 ℃冰箱保存，在此期间，气体代谢试验采用 Sable 开路式循环气体代谢系统、LGR 气体分析仪测定甲烷产量，此系统连接 6 个气体代谢箱，可同时测定 6 只试验羊甲烷产量，将试验羊分 5 批次移入气体代谢箱，每批次测定同一处理的 6 只试验羊，进入代谢箱后适应 24 h，测定随后 48 h 的甲烷排放量(包括呼吸道和消化道及体表排出的甲烷)，用于计算饲粮 ME。在消化试验结束时，将收集的每只羊粪混合后置于 65 ℃烘箱中

48 h，回潮 48 h 后称重用于计算初水分含量，在将粪样粉碎过 40 目网筛制成分析样品，以备分析检测。

1.4　测定指标和方法

1.4.1　营养物质消化率

饲粮、原料和粪样中的干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、粗灰分（ash）和总能（GE），以及原料中钙（Ca）和磷 P 含量测定依据《饲料分析及饲料质量检测技术》[10]。

1.4.2　甲烷产量测定

Sable 开路式呼吸测热系统。将试验羊称重后移入气体代谢箱，待试验羊适应后测定 48 h 甲烷产量（L）。

1.4.3　ME

尿能：取 5 块定量滤纸分别测定能值，计算出滤纸的平均能值。将 10 mL 尿液分多次滴在滤纸上，65 ℃烘干后于 IKA C2 000 氧弹式热量测定仪中测定，得到滤纸和尿液的能值。

尿能=滤纸+尿液能值-滤纸能值；

甲烷能（CH_4-E,kJ）=甲烷产量（L）×39.54（kJ/L）[11]；

ME=GE-粪能-尿能-CH_4-E。

1.5　计算公式

饲粮及原料营养物质全肠道表观消化率计算方法参照 Adeola[12]的公式：

饲粮营养物质全肠道表观消化率（%）=100×（食入的营养物质量-粪中该营养物质含量）/食入的营养物质量；

原料营养物质全肠道表观消化率（%）=100×[试验饲粮营养物质全肠道表观消化率-（1-X）×基础饲粮中该营养物质全肠道表观消化率]/X。

式中：X 为待测原料替代基础饲粮比例（%）。

替代法测定原料能值的计算公式参照刘德稳[7]、陶春卫[13]的公式：

能值=100×[试验饲粮能值-（1-X）×基础饲粮能值]/X。

式中：X 为待测原料替代基础饲粮比例；能值（MJ/kg）可为 DE、ME。

1.6　统计分析

试验数据采用 SAS 9.2 统计软件中 ANOVA 过程进行方差分析，并进行 Duncan 氏法多重比较检验，P<0.05 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 羊草营养水平

羊草营养水平见表 2。

表 2 羊草营养水平（干物质基础）

Table 2 Nutrient levels of leymus chinensis (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
干物质 DM	91.13
有机物 OM	87.62
粗蛋白质 CP	7.64
粗脂肪 EE	1.94
中性洗涤纤维 NDF	64.87
酸性洗涤纤维 ADF	40.24
磷 P	0.19
钙 Ca	0.46
总能 GE/(MJ/kg)	16.29

2.2 直接法与替代法测定的饲粮营养物质表观消化率

由表 3 可知，DM、OM、CP、GE 的全肠道表观消化率：基础饲粮组>20%组>40%组>60%组>全羊草饲粮组,组间差异显著（P<0.05），但各组饲粮 NDF 全肠道表观消化率差异不显著（P>0.05）。

表 3 直直接法与替代法测定的肉羊饲粮营养物质表观消化率

Table 3 Nutrient digestibility of diets of mutton sheep determined by direct and substitution methods %

项目 Items	全羊草饲粮 Full *Leymus chinensis* diet	替代比例 Substitution proportion/%				标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
		0	60	40	20		
干物质 DM	45.92^{e}	60.64^{a}	48.82^{d}	53.90^{c}	57.46^{b}	1.06	<0.001
有机物 OM	49.91^{e}	63.14^{a}	52.90^{d}	56.46^{c}	60.05^{b}	1.00	<0.001
粗蛋白质 CP	47.15^{e}	71.97^{a}	58.42^{d}	63.24^{c}	67.86^{b}	1.83	<0.001
总能 GE	49.11^{e}	65.25^{a}	52.59^{d}	57.42^{c}	61.99^{b}	1.18	<0.001
中性洗涤纤维 NDF	44.55	43.4	43.33	42.84	44.06	0.39	0.691

同行数据肩标不同字母表示差异显著（P<0.05），无字母或字母相同表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

Values in the same row with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference （P>0.05）. The same as below.

2.3 直接法与替代法测定的饲粮能值

由表 4 可知，各饲粮粪能、CH_4-E、DE、ME 出现显著差异（*P*<0.05），而尿能无显著差异（*P*>0.05）。粪能：全羊草饲粮组（10.11MJ/d）>60%组（9.53MJ/d）>40%组（8.63 MJ/d）>20%组（7.64 MJ/d）>基础饲粮组（7.05 MJ/d），组间差异显著（*P*<0.05）。CH_4-E：基础饲粮组（1.58 MJ/d）与 40%组 CH_4-E（1.57 MJ/d）显著高于 20%组（1.40 MJ/d）、60%组（1.35 MJ/d）、全羊草饲粮组（1.29 MJ/d）（*P*<0.05）。DE 与 ME：基础饲粮组（12.27 与 9.66 MJ/kg DM）>20%组（11.54 与 9.13 MJ/kg DM）>40%组（10.78 与 8.44 MJ/kg DM）>60%组（9.70 与 7.65 MJ/kg DM）>全羊草饲粮组（8.76 与 6.81 MJ/kg DM）,组间差异显著（*P*<0.05）。

表 4 直接法与替代法测定的肉羊饲粮能值

Table 4 Energy values of diets of mutton sheep determined by direct and substitution methods

项目 Items	全羊草饲粮 Full *Leymus chinensis* diet	替代比例 Substitution proportion/%				标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
		0	60	40	20		
粪能 FE（MJ/d）	10.11[a]	7.05[e]	9.53[b]	8.63[c]	7.64[d]	0.21	<0.001
尿能 UE（MJ/d）	0.88	1.05	0.88	0.95	1.20	0.04	0.650
甲烷能 CH4-E（MJ/d）	1.29[c]	1.58[a]	1.35[bc]	1.57[a]	1.40[b]	0.04	<0.001
消化能 DE（MJ/d）	9.76[e]	13.24[a]	10.57[d]	11.64[c]	12.46[b]	0.24	<0.001
代谢能 ME（MJ/d）	7.59[e]	10.61[a]	8.34[d]	9.12[c]	9.86[b]	0.2	<0.001
消化能 DE（MJ/kg DM）	8.76[e]	12.27[a]	9.70[d]	10.78[c]	11.54[b]	0.25	<0.001
代谢能 ME（MJ/kg DM）	6.81[e]	9.66[a]	7.65[d]	8.44[c]	9.13[b]	0.21	<0.001
代谢能与消化能比 DM：ME/%	77.73	78.73	78.87	78.29	79.12	0.52	0.351

2.4 直接法与替代法测定的羊草营养物质表观消化率及能值

由表 5 可知，各组饲粮 CP、NDF 全肠道表观消化率差异不显著（*P*>0.05）。直接法中全羊草饲粮组的 DM、OM、GE 表观消化率显著高于替代法的 60%组（*P*<0.05），而与 40%组、20%组之间差异不显著（*P*>0.05），其中 20%组更接近全羊草饲粮组。全羊草饲粮组 DE（8.95 MJ/kg DM）显著高于 60%组（7.98 MJ/kg DM）（*P*<0.05），与 40%组（8.56 MJ/kg DM）、20%组（8.62 MJ/kg DM）之间差异不显著（*P*>0.05），其中 20%组更接近全羊草饲粮组；直接法中全羊草饲粮组 ME（6.96 MJ/kg DM）与 60%组 ME（6.31 MJ/kg DM）差异显著（*P*<0.05），与 40%组（6.61 MJ/kg DM）和 20%组（7.01 MJ/kg DM）之间无显著差异（*P*>0.05），其中 20%组最接近全羊草饲粮组。同时代谢能与消化能比（ME：DE）2 种方法的各组之间亦无

显著差异（P>0.05）。这就提示我们，在采用替代法计算羊草的 ME 时，羊草替代比例为 20%为宜。

表 5　直接法与替代法测定的肉羊羊草营养物质表观消化率及能值

Table 5　Nutrient digestibility and energy values of *Leymus chinensis*of of mutton sheep determined by direct and substitution methods

项目 Items	全羊草饲粮 Full *Leymus chinensis* diet	替代比例 Substitution proportion/%			标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
		60	40	20		
表观消化率 Apparent digestibility						
干物质 DM/%	48.95[a]	40.46[b]	45.80[ab]	46.74[ab]	0.57	0.041
有机物 OM/%	50.03[a]	45.77[b]	46.54[ab]	47.68[ab]	0.52	0.034
粗蛋白质 CP/%	48.20	49.39	50.15	51.42	0.90	0.053
总能 GE/%	45.06[a]	39.19[b]	42.31[ab]	43.26[ab]	0.81	0.047
中性洗涤纤维 NDF/%	45.53	42.65	42.01	46.72	1.30	0.551
能值 Energy value						
消化能 DE/(MJ/kg DM)	8.95[a]	7.98[b]	8.56[ab]	8.62[a]	0.43	0.032
代谢能 ME/(MJ/kg DM)	6.96[a]	6.31[b]	6.61[ab]	7.01[a]	0.35	0.027
代谢能与消化能比 DM：ME/%	77.76	79.87	77.21	81.32	0.76	0.415

3　讨　论

3.1　直接法与替代法对肉羊饲粮营养物质表观消化率及能值的影响

3.1.1　全羊草饲粮、基础饲粮和替代饲粮中能值的比较

饲料中的能量是畜禽所需营养物质的来源，营养物质在被动物采食、消化、吸收、代谢过程中伴随一部分能量的损失。粪能是饲料能量损失的最大部分，5 组饲粮全羊草饲粮组粪能最大，其次是 60%组、40%组、20%组、基础饲粮组。基础饲粮的 DE 和 ME 分别高于全羊草饲粮组、60%组、40%组、20%组，究其原因在于其饲料原料组成的差异。由于各种饲料所含营养物质消化率的差异，导致其有效能不同。饲料原料组成是影响饲料能值的主要因素，易消化的蛋白质和难消化的纤维素都可以产生较大的影响[13]。饲料中纤维含量与 ME 呈高度的负相关。本试验 5 组饲粮中全羊草饲粮组 NDF 含量最高，其次是 60%组、40%组、20%组、基础饲粮组，而它们的 DE、ME 逐渐变大。本试验的结果与刘洁[14]的研究结论吻合。5 组饲粮中 CH_4-E 差异显著，影响 CH_4-E 的因素很多[15-16]，本研究中 CH_4-E 从大到小依次是基础饲粮组、40%组、20%组、60%组、全羊草饲粮组。CH_4-E 占 DE 的比例为 11.23%～13.38%，Tamminga[17]表明通常情况下奶牛瘤胃中约有 8%～12%的 DE 转变成甲烷而损失掉。而赵一广[18]在肉用绵羊的研究中其 CH_4-E 占 DE 的比例是 10.76%～12.27%，本研究在与其

饲粮组成成分一致、精粗比接近的情况下，所得结果与上述研究存在差异。究其原因除了所用原料营养价值不一外，还可能由于赵一广[18]在研究中甲烷测定采用的是呼吸测热头箱，仅测定了羊只通过嗳气由口鼻中排出甲烷，未能实时测定由直肠排出的甲烷。而本试验甲烷测定采用的是呼吸代谢箱实时监测 48 h。

3.1.2 全羊草饲粮、基础饲粮和替代饲粮中营养物质表观消化率的比较

饲粮营养物质表观消化率是反映羊对饲粮营养物质利用及机体生理状态的重要指标。饲粮组成及配制、饲喂量、生理时期、试验动物及环境的不同都会引起消化率的变化。就 5 组饲粮的 DM、OM、GE、CP 表观消化率而言，各饲粮之间差异显著，主要原因有以下几个方面：一是 NDF 的含量对 DM、OM、CP、NDF 全肠道表观消化率存在极显著影响[19]，试验中饲粮 NDF 含量以全羊草饲粮组最多，其次是 60%组、40%组、20%组。Valdés 等[20]研究证实，DM 表观消化率随饲粮中粗饲料比例的增加而降低。本试验中随着羊草替代比例的增加，饲粮粗饲料比例加大，基础饲粮 DM 表观消化率逐次显著大于 60%组、40%组、20%组、全羊草饲粮组；二是饲粮的 DM、OM、GE 和 CP 的表观消化率与它们在饲料中的含量均呈极显著正相关[14]，化学成分以 CP 对表观消化率影响最大，本试验条件下所得的各饲粮营养物质表观消化率变化趋势也与此规律是一致的。刘洁[14]在绵羊 ME 预测模型的研究中，营养水平与本试验接近的饲粮消化率略高。因此，本试验中基础饲粮以及采用替代法后所得到的各饲粮的 DE、ME 均是试验羊只处于正常的生理消化代谢下测定所得。因而，试验所得各饲粮 DE、ME 客观，真实能够用于替代法的计算。

3.2 直接法与替代法对羊草营养物质表观消化率及能值的影响

本试验表明，2 种方法测定的羊草的 CP、NDF 全肠道表观消化率差异不显著；而直接法中羊草的 DM、OM、GE 消化率显著高于 60%组，与 40%组、20%组之间差异不显著，其中 20%组更接近全羊草饲粮；全羊草饲粮组的羊草 DE 显著高于 60%组，与 40%组、20%组之间差异不显著，其中 20%组更接近全羊草饲粮组；直接法中全羊草饲粮组的羊草 ME 与 60%组 ME 差异显著，与 40%组、20%组之间无显著差异，其中 20%组最接近全羊草饲粮；同时 DE 用于 ME 的能量转化效率，即 ME∶DE，2 种方法之间亦无显著差异。这提示我们，在采用替代法计算羊草的 ME 时，羊草替代比例为 20%为宜。直接法和替代法是测量单一饲料常用的经典方法，对于羊来说，粗饲料可以单独饲喂，能够有效地避免原料间营

养互作，以待测原料作为唯一能量来源饲喂动物，可以较直接地计算出食入 GE 和消化代谢损失的能量的差值，但此方法使用范围狭窄，常受限于原料的适口性，营养成分这些因素[21]。本研究所用羊草中水分含量为 8.87%，OM 含量为 87.62%，CP 含量为 7.64%，EE 含量为 1.94%，NDF 含量为 64.87%，ADF 含量为 40.24%，P 含量为 0.19%，Ca 含量为 0.46%，GE 为 16.29 MJ/kg。将此羊草制作成颗粒饲料，提高了饲粮适口性，保证动物采食量。目前关于不同方法研究饲料原料能值的报道不多，而在单胃动物家禽，猪上的研究相对较多，近年来，Bolarinwa 等[22]利用直接法和回归法测定猪小麦的能值，其结果表明 2 种方法之间亦无显著差异；刘德稳[7]采用直接法与替代法探究对测定生长猪玉米净能的影响，该报道中直接法的玉米饲粮 CP 含量为 8.38%、替代法中基础饲粮的 CP 含量为 17.19%、而替代后组成的新饲粮 CP 含量为 13.76%，DE、ME、净能和沉积净能差异均不显著；聂大娃[23]应用插值法探讨了替代法测定 28 日龄肉仔鸡单个饲料(玉米)ME 中被测饲料的适宜替代比例问题，在替代比例对被测玉米的表观代谢能（AME）计算值的影响上，除 80%替代组外，所测得玉米 AME 无显著差异，说明替代比例（20%～70%）的变化对于被测玉米的 AME 测定无显著性影响；本研究中羊草替代比例为 60%、40%、20%，所得羊草的 ME 除 60%组外，其他 3 组亦无显著差异。说明替代法测定羊草 ME 的替代比例可以为 20%或 40%。替代法的要求就是要配制一个营养水平满足动物需求的基础饲粮，目前对关于替代比例没有确定的固定值，很难控制试验饲粮蛋白质和纤维的一致性，因此本研究的目的是确定羊草的最佳替代比例，本研究使用的替代法将羊草以不同的比例替代后构成的新试验饲粮营养水平存在一定的差异，得到结果是 40%组、20%组所得羊草 ME 与全羊草组相比无显著差异，而 60%组差异显著，且 ME 降低，说明替代比例过高对 ME 造成了影响，这种影响可能由于蛋白质和纤维比例的变化造成的。此外，Villamide[3]对测定家兔原料能值的直接法、替代法、多元回归构建模型这 3 种方法及其精确度分别做了综述，表明替代法测定家兔饲料能值最佳的替代比例为 20%～30%，此时测定值的精确度最高；在肉羊方面的的研究中，前人则是采用半体内法，体外法对原料营养物质含量或者营养物质可利用性进行评定[24-27]。在采用体内法对肉羊粗饲料原料能值的评定中，陶春卫[13]在精粗比近似 8:2 的基础饲粮中用待测饲料（羊草、玉米秸秆、苜蓿、青贮）替代饲粮供能的部分，替代量为基础饲粮的 65%，组成的新饲粮 CP 含量分别为 9.18%、8.21%、6.19%、15.29%，采用替代法得出羊草的 DE、ME 与体外测定值差

异不显著，其研究所得羊草的 DE 与 ME 分别为（9.56±0.14）、（7.63±0.51） MJ/kg。而本试验实测得到羊草 DE 与 ME 分别为 8.95、6.96 MJ/kg DM。鉴于直接法与替代法对测定羊草 ME 的显著差异，本研究中羊草分别以 60%、40％、20%的比例替代基础饲粮中的供能成分（羊草、玉米、豆粕），对测定羊草 DE、ME 的显著差异，直接法实测羊草 ME 与 40%组、20%组间无显著差异。直接法测定数据更接近于 20%组所得羊草的能值。直接法与替代法对测定羊草的各营养物质消化率的影响中，具有一定的差异性，其中直接法实测的羊草的 DM、OM、GE 消化率与 40%组、20%组无显著差异，而 20%组最接近直接所得羊草 ME。因此在采用替代法测定羊草的 ME 时，替代比例选择 20%为宜。

4 结 论

直接法与替代法在测定羊草的 ME 时，替代比例不同会对结果产生显著影响，在采用替代法测定羊草的代谢能时，最佳的替代比例为 20%。

参考文献：

[1] 蔡建森,刁其玉.舍饲肉羊的营养需要量[C]//2006 中国羊业进展——第三届中国羊业发展大会论文集.兰州:第三届中国羊业发展大会,2006:255–259.

[2] 李婷婷.玉米 DDGS 营养价值预测模型研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[3] VILLAMIDE M J.Methods of energy evaluation of feed ingredients for rabbits and their accuracy[J].Animal Feed Science and Technology,1996,57(3):211–223.

[4] SIBBALD I R. A bioassay for true metabolisable energy in feedingstuffs[J].Poultry Science,1976,55(1):303–308.

[5] FARRELLD J.Rapid determination of metabolisable energy of foods using cockerels[J]. British Poultry Science,1978,19(3):303–308.

[6] 常娟,尹清强,姜义宝,等.生物秸秆对肉鸡表观代谢能的影响及替代玉米适宜比例的研究[J].动物营养学报,2012,24(8):1557–1563.

[7] 刘德稳.生长猪常用七种饲料原料净能预测方程[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2014.

[8] 朱良.棉籽粕饲料猪 DE 评定及化学估测模型的研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大

学,2011.

[9] NRC.Nutrient requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids and new world camelids[S].Washington,D.C.:National Academy Press,2007.

[10] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业大学出版社,2010.

[11] 杨嘉实,冯仰廉.畜禽能量代谢[M].北京:中国农业出版社,2004.

[12] ADEOLA O.Digestion and balance techniques in pigs[M]//LEWIS A J,SOUTHERN L L.Swine nutrition.2nd ed.Washington,D.C.:CRC Press,2001:903–916.

[13] 陶春卫.反刍动物常用粗饲料营养价值评定及其有效能值预测模型的建立[D].硕士学位论文.大庆:黑龙江八一农垦大学,2009.

[14] 刘洁.肉用绵羊饲料代谢能与代谢蛋白质预测模型的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[15] MCGEOUGH E J,O'KIELY P,HART K J,et al.Methane emissions feed intake performance digestibility and rumen fermentation of finishing beef cattle offered whole-crop wheat silages differing in grain content[J].Journal of Animal Science,2010,88(8):2703–2716.

[16] ECKARD R J,GRAINGER C,DE KLEIN C A M.Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production:a review[J].Livestock Science,2010,130(1/2/3):47–56.

[17] TAMMINGA S.Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control[J].Journal of Dairy Science,1992,75(1):345–357.

[18] 赵一广.肉用绵羊甲烷排放的测定与估测模型的建立[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[19] 张立涛.25~50 kg 杜寒杂交 F1 代肉用绵羊日粮 NDF 适宜水平的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[20] VALDÉS C,CARRO M D,RANILLA M J,et al.Effect of forage to concentrate ratio complete diets offered to sheep on voluntary food intake and some digestive parameters[J].Animal Science,2000,70(1):119–126.

[21] HILL F W,ANDERSON D L.Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks[J].The Journal of Nutrition,1958,64(4):587–603.

[22] BOLARINWA O A,ADEOLA O.Direct and regression methods do not give different estimates of digestible and metabolizable energy of wheat for pigs[J].Journal of Animal Science,2012,90(Suppl.4):390–392.

[23] 聂大娃.不同地区玉米肉仔鸡代谢能研究[D].硕士学位论文.北京：中国农业科学院,2008.

[24] AMMAR H,LÓPEZ S,GONZÁLEZ J S,et al.Seasonal variations in the chemical composition and *in vitro* digestibility of some Spanish leguminous shrub species[J].Animal Feed Science and Technology,2004,115(3/4):327–340.

[25] 姜芳.反刍动物常用饲料原料的营养价值评定及其变异度分析[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2009.

[26] 邹彩霞,杨炳壮,罗荣太,等.应用体外产气法评定广西区内 3 种臂形草和 2 种坚尼草的营养价值[J].饲料工业,2011,32(19):45–48.

[27] 靳玲品.反刍动物常用粗饲料营养价值评定方法的比较研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

A Comparison on Metabolizable Energy of *Leymus chinensis* in Mutton Sheep Determined by Direct and Substitution Methods

ZHAO Mingming[1,2] YANG Kailun[1] DENG Kaidong[3] ZHAO Jiangbo[2] XIAO Yi[2] MA Tao[2] DIAO Qiyu[1,2*]

(1. College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumchi 830052, China; 2. Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081,China; 3. College of Animal Science, Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038, China)

Abstract: This study aimed to compare metabolizable energy (ME) of *Leymus chinensis* in mutton sheep determined by direct and substitution methods. Thirty crossbreed rams weighted about 45.0 kg were used and divided into 5 treatments with 6 replicates per treatment and 1 sheep per replicate according to a randomized block design. The treatments were as follows: full *Leymus chinensis* diet for direct method, and a basal diet (forage: concentrate ratio was 1:1) and three

*Corresponding author, professor, E-mall: diaoqiyu@ caas.cn (责任编辑 王智航)

experimental diets (the basal diet was replaced by *Leymus chinensis* at 60%, 40% and 20%) for substitution method. Diets were fed twice at 08:00 and 18:00 (600 g at each time point). Each experiment period lasted for 19 d including 10 d of adaptation period. The results showed as follows: the apparent digestibility of dry matter, organic matter, gross energy and crude protein of showed that basal diet group>20% group>40% group>60% group>full *Leymus chinensis* diet group ($P<0.05$). The digestible energy (DE) and ME showed that basal diet group>20% group>40% group>60% group> full *Leymus chinensis* diet group ($P<0.05$). DM：ME had no significant difference among treatments ($P>0.05$). The apparent digestibility of crude protein and neutral detergent fiber had no difference between direct and substitution methods. The apparent digestibility of dry matter, organic matter, and gross energy of *Leymus chinensis* in full *Leymus chinensis* diet group measured with direct method was significantly higher than those in 40% group ($P<0.05$), but had no significant difference with 20% group and 40% group ($P>0.05$). The DE and ME in full *Leymus chinensis* diet group were significantly higher than those in 60% group ($P<0.05$), and had no significant difference with 40% group and20% group ($P>0.05$). In determination of ME of *Leymus chinensis* using different methods, a significant difference is observed when the substitution proportion is different. The optimum substitution proportion is 20% when using substitution method to measure ME.

Key words: direct method; substitution method; metabolizable energy estimation; mutton sheep; *Leymus chinensis*